پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۹ شمارۀ۲، نیمۀ دوّم ۱۳۹۷، صفحۀ ۸۰-۶۶

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 66-80
DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.58498

تخمین سطح برگ سبز با استفاده از روابط آن با سایر صفات رویشی در دو رقم باقلای برکت و فرانسه

محمدکاظم اسلامی[1]، ابراهیم زینلی[2]، افشین سلطانی[3] و محمد خادم‌پیر[4]*

۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، eslami@yahoo.com
۲ دانشیار زراعت، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، zainali11@yahoo.com
۳ عضو هیئت علمی و استاد مدل‌سازی گیاهان زراعی، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، soltani@yaoo.com
۴ دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲

چکیده

به‌منظور تخمین سطح برگ سبز با استفاده از روابط آن با سایر صفات رویشی، آزمایشی با استفاده از دو رقم باقلا (رقم متداول برکت و رقم جدید فرانسه)، سه فاصله بین ردیف (۲۵، ۵۰ و ۷۵سانتی‌متر) و دو فاصله روی ردیف (۸ و ۱۵سانتی‌متر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی۱۳۸۹۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اجرا درآمد. نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک برگ سبز و زرد به تفکیک طی فصل رشد با فوصل زمانی ۷ تا ۱۵روز (بسته به شرایط دمایی و سرعت رشد بوته‌ها) انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ و وزن خشک کل بوته تحت تأثیر رقم، فاصله بین ردیف و فاصله روی ردیف نگرفت. بنابراین می‌توان برای رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ و وزن خشک کل بوته در تمام تیمارها از یک معادله استفاده کرد. علاوه بر این، با توجه به این‌که رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ سبز و تعداد گره در ساقه دارای ضریب تبیین بالاتر (۰/۹۸) و جذر میانگین مربعات کوچک‌تر (۱/۰۵) و در نتیجه دقت برآورد بالاتری نسبت به صفات دیگر بود، پیشنهاد می‌شود از رابطه بین سطح برگ سبز و وزن خشک برگ سبز (رابطه دوتکه‌ای) برای برآورد سطح برگ سبز سریع، آسان، کم‌هزینه و با دقتی قابل‌قبول استفاده شود. همچنین از این رابطه می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی باقلا نیز به‌منظور پیش بینی سطح برگ سبز باقلا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، باقلا، روابط آلومتریک، سطح برگ، وزن خشک برگ

مقدمه

روابط بین سرعت رشد اجزای منفرد یک اندام یا یک موجود آلومتری خوانده می‌شود (Gardner *et al*., 1985). روابط آلومتریک در گیاهان، تغییرات رشد و نمو و مشخصات نسبی یک بخش از گیاه را در مقایسه با کل یا بخش‌های دیگر گیاه نشان می‌دهد (Niklas, 1994). روابط آلومتریک برای یک گیاه معین، ثابت هستند و از آن‌ها می‌توان برای پیش‌بینی نمو رویشی با همان دقت برآوردشده استفاده نمود. به‌طورکلی، محیط مناسب می‌تواند سرعت رشد را افزایش دهد، ولی شکل هندسی گیاه و اجزای آن تقریباً ثابت است (Niklas, 1994). روابط آلومتریک ارتباط تنگاتنگی با پیش‌بینی نمو فنولوژیک دارند. پیش‌بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نموی گیاه در مدل‌سازی اهمیت زیادی دارد (Soltani *et al*., 2006).

شاخص سطح برگ یکی از متغیرهای مهم در مطالعات اقلیمی (Lockwood, 1999; Ewert, 2004)، اکولوژیک (Chen *et al*., 2002)، زراعی (Soltani & Galeshi, 2002) و مدل‌هایی است که خسارت پاتوژن‌ها را شبیه‌سازی می‌کنند (Waggoner & Berger, 1987). سطح برگ عامل تعیین‌کنندۀ جذب تشعشع، فتوسنتز، تجمع ماده خشک و انتقال انرژی توسط کانوپی‌های گیاهی است. همچنین سطح برگ از نظر رقابت بین گیاه زراعی و علف‌های‌هرز دارای اهمیت می‌باشد (Akramghaderi & Soltani, 2004; Jonckheere *et al*., 2004). اندازه‌گیری سطح برگ نسبت به اندازه‌گیری‌های دیگر مانند ارتفاع بوته و وزن خشک اندام‌ها یا کل بوته در بیشتر گیاهان زراعی از جمله باقلا بسیار مشکل‌تر و

*نویسنده مسئول: m.khadempir87@yahoo.com

وقت‌گیرتر بوده و نیاز به صرف هزینهٔ بیشتر دارد. یکی از روش های برآورد شاخص‌هایی مثل سطح برگ، استفاده از روابط آلومتریک یا به عبارتی یافتن روابطی برای برآورد صفات با استفاده از ویژگی‌هایی است که اندازه‌گیری یا شبیه‌سازی آن‌ها آسان می‌باشد. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و وزن خشک اجزای رویشی اشاره نمود. از این معادلات به‌طور موفقیت‌آمیزی برای گیاهان مختلف از قبیل نخود (Rahemi *et al*., 2006)، پنبه (Akramghaderi *et al*., 2004)، بادام‌زمینی (Ma *et al*., 1992)، پنبه (Johnson, 1967)، ارزن (Payne *et al*., 1991)، سورگوم شیرین (Shih *et al*., 1981) و سویا (Lieth *et al*., 1986) استفاده شده است.

Zainali, *et al* (2013) با بررسی روابط آلومتریک بین سطح برگ و صفات رویشی در باقلا (*Vicia faba*) گزارش کردند که بین سطح برگ با وزن خشک برگ سبز، وزن خشک اجزای رویشی گیاه و ارتفاع بوته در دورهٔ توسعهٔ مؤثر سطح برگ، روابط آلومتریک بسیار قوی (به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۶ ، ۰/۹۶ و ۰/۹۴) وجود دارد. ایشان با توجه به این‌که رابطهٔ سطح برگ با وزن خشک برگ سبز در بوته دارای ضریب تبیین بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات کوچک‌تری نسبت به ارتفاع بوته بود، پیشنهاد کردند در مدل‌های شبیه‌سازی باقلا و همچنین برای برآورد سریع و آسان سطح برگ از رابطه بین سطح و وزن خشک برگ استفاده شود. یافته‌های مطالعهٔ Bakhshande *et al*, (2011) نشان داد که در گیاه گندم سطح برگ بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز، وزن خشک کل اجزای رویشی (برگ و ساقه) و ارتفاع بوته تا مرحله گرده‌افشانی روابط آلومتریک بسیار قوی (به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۲، ۰/۹۶، ۰/۹۵ و ۰/۹۱) دارد.

هدف از این مطالعه به‌دست‌آوردن روابط آلومتریک بین سطح برگ سبز (سانتی‌مترمربع در بوته) با تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز (گرم در بوته) و وزن خشک کل اجزای رویشی (ساقه و برگ)، به‌منظور برآورد سریع سطح برگ با استفاده از صفات رویشی یادشده و بدون نیاز به اندازه‌گیری سطح برگ بود. همچنین در این آزمایش، تأثیر سه فاکتور رقم، فاصله روی ردیف و فاصله بین ردیف بر روابط آلومتریک یادشده در گیاه باقلا بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۹۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۳متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالیانه ۶۰۷میلی‌متر اجرا گردید. نتایج آزمون خاک نشان داد که خاک مزرعه دارای ۳۴درصد شن، ۴۲درصد سیلت و ۲۴درصد رس (بافت لومی)، هدایت الکتریکی (EC خاک) ۱/۱ دسی‌زیمنس برمتر و اسیدیتهٔ ۷/۸ می‌باشد. آزمایش با استفاده از دو رقم باقلا (برکت و فرانسه)، سه فاصله بین ردیف‌های کاشت (۲۵، ۵۰ و ۷۵سانتی‌متر) و دو فاصله داخل ردیف‌های کاشت (۸ و ۱۵سانتی‌متر) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی برای دو رقم برکت و فرانسه انجام شد. کاشت بذر پس از انجام عملیات تهیه بستر به‌صورت مرسوم در ۵دی‌ماه۱۳۸۹ برای رقم فرانسه و در تاریخ ۷دی‌ماه۱۳۸۹ برای رقم برکت به‌صورت دستی و در عمق ۵سانتی‌متر در شش ردیف کاشت به طول ۷متر در هر کرت انجام شد. زمین مورد استفاده در سال قبل از آزمایش زیرکشت گندم و در تابستان آیش بود. قبل از کاشت،۲۰۰کیلوگرم در هکتارسوپر فسفات تریپل، ۱۵۰کیلوگرم در هکتارسولفات پتاسیم و۵۰کیلوگرم در هکتار اوره (به‌عنوان مقدار اولیه برای تأمین نیازهای نیتروژنی گیاه زراعی تا شروع فعال تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط باکتری همزیست باقلا) به خاک اضافه شد. برای اطمینان از دستیابی به تراکم موردنظر، در هر محل دو بذر کاشته شد و پس از استقرار کامل بوته‌ها نسبت به حذف بوته‌های اضافی اقدام شد. چون آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های‌هرز انجام می‌شد، آبیاری، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های‌هرز در مواقع لازم صورت گرفت. نمونه‌برداری از زمان استقرار بوته‌ها تا پایان دورهٔ مؤثر تولید برگ با فاصله زمانی۷ تا ۱۵روز (بسته به شرایط آب و هوایی) انجام شد. در هر نمونه‌برداری نمونه‌ای متشکل از ۴ تا ۶بوته و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک۱۰بوته از هر کرت برداشت و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اندازه‌گیری سطح برگ سبز به وسیله دستگاه سطح برگ سنج دلتاتی و وزن خشک برگ به تفکیک برگ سبز و برگ زرد پس از قراردادن در آون با دمای۷۰درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ساعت و توزین آن‌ها با دقت ۰/۰۱گرم انجام شد.

در این تحقیق، توابع ریاضی مختلف برای به‌دست‌آوردن روابط آلومتریک به داده‌ها برازش داده شد. برازش معادله و بررسی آن برای دو رقم، سه فاصله بین ردیف و دو فاصله بین ردیف انجام شد. در هر حالت، با بررسی حدود اطمینان ضرایب به‌دست‌آمده، اگر اختلاف معنی‌دار نبودند، از حالت بعدی استفاده شد. برای مقایسه دقت معادلات از ضریب تبیین

(R^2)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE=\sqrt{\frac{\sum(p-o)^2}{n-1}}$)که در آن p و o به‌ترتیب مقدار پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل و مقدار مشاهده‌شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد، و ضریب تغییرات (CV) استفاده شد. ضریب تبیین بالاتر و ضریب تغییرات و جذر میانگین مربعات خطای پایین‌تر نشان‌دهنده دقت بالاتر معادله در توصیف روابط آلومتریک است. یادآور می‌شود که در این مقاله از RMSE بر حسب درصد استفاده شد که اگر کمتر از ۱۰ باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ متوسط و بالاتر از ۳۰ مدل ضعیف ارزیابی می‌شود. مدل‌های به‌کاررفته در این تحقیق عبارت بودند از:

الف) مدل توانی: از میان معادله‌های مختلف برازش‌داده شده به داده‌های تغییرات سطح برگ در بوته در مقابل تعداد برگ در ساقه، معادلۀ توانی بهترین برازش را به داده‌ها داشت:

معادله(۱) $y=x^b$

که در آن y سطح برگ در بوته، x تعداد برگ در ساقه اصلی و b ضریب معادله می‌باشد. برای برازش تابع، داده‌های سطح برگ بوته و تعداد برگ در ساقه اصلی تا زمانی که تعداد برگ در ساقه اصلی به حداکثر مقدار خود رسید، مورد استفاده قرار گرفتند.

ب) به‌منظور محاسبه روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت از معادله لجستیک زیر استفاده شد:

معادله(۲)

LAI=((a*exp((a)*(xb))*c))/((1+exp ((a)*(xb))) **2

که در آن ضرایب a، b و c به‌ترتیب، سرعت تولید سطح برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت کاهش سطح برگ می‌باشند.

ج) برای توصیف رابطه بین شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ (گرم در متر مربع) از معادله سه‌تکه‌ای زیر استفاده شد (Ghadirian *et al*., 2011):

معادله (۳) y=(b1* x0) + b2*(x x0)

که در آن y شاخص سطح برگ، x وزن خشک برگ (گرم در متر مربع)، x0 نقطه چرخش بین دو مرحله تخصیص ماده خشک، b1 ضریب تخصیص در طول مرحله۱ و b2 ضریب تخصیص ماده خشک در مرحله۲ می‌باشد.

د) مدل دوتکه‌ای: مدل‌های مختلفی به داده‌های سطح برگ در مقابل وزن خشک اجزای رویشی برازش داده شد و در نهایت مدل دوتکه‌ای به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد (معادله ۴) (Ghadirian *et al*., 2011).

معادله (۴) y=(b1* x0) + b2*(x x0)

که در آن y شاخص سطح برگ، x وزن خشک اجزای رویشی گیاه (گرم در مترمربع)، x0 نقطه چرخش بین دو مرحله تخصیص ماده خشک، b1 ضریب تخصیص در طول مرحله۱ و b2 ضریب تخصیص ماده خشک در مرحله۲ می باشد.

ه) به‌منظور توصیف رابطه بین سطح برگ در بوته (سانتی‌مترمربع در بوته، y) و ارتفاع بوته (سانتی‌متر، x) از معادله (۵) استفاده شد که در آن b ضریب معادله است (Ghadirian *et al*., 2011).

معادله (۵) y=xb

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و برازش معادله با استفاده از نرم‌افزارSAS و تخمین پارامترهای هر معادله با روش مطلوب‌سازی تکراری با کمک رویه PROC NLIN صورت گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

شرایط آب و هوایی

مقایسه شرایط آب و هوایی دوره آزمایش با آمار بلندمدت گرگان (جدول ۱) نشان داد که میانگین دمای حداقل درتمام ماه‌های دوره آزمایش به‌تقریب مشابه میانگین بلندمدت بود. بیشترین اختلاف بین این دو دوره برای حداقل دما مربوط به اسفند (۲/۳درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای آمار بلندمدت) و برای حداکثر دما مربوط به آذر (۴/۹درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای آمار بلندمدت) بود. در مجموع، پایین‌ترین حداقل (۳/۴درجه سانتی‌گراد) و حداکثر (۱۲/۷درجه سانتی‌گراد) دمای محل در سال زراعی ۹۰–۱۳۸۹ به‌ترتیب مربوط به ماه‌های بهمن و اسفند بود. بعد از این، حداقل و حداکثر دما افزایش یافت و در خردادماه به ترتیب با ۲۰/۲ و ۳۱/۱درجه سانتی‌گراد به حداکثر خود رسید.

مقایسه میزان بارندگی در ماه‌های دوره آزمایش با بارندگی بلندمدت منطقه نشان داد که در بهمن‌ماه بارندگی بیشتر از آمار بلندمدت بود و در بقیه ماه‌ها کاهش بارندگی مشاهده شد. بیشترین اختلاف در بارندگی مربوط به فروردین ماه با ۵۰/۳میلی‌متر کمتر از آمار بلندمدت بود. همچنین در این سال زراعی بیشترین میزان بارندگی در اسفندماه با ۷۲/۸میلی‌متر و کمترین آن در فروردین‌ماه با ۱۰/۰میلی‌متر اتفاق افتاد. در ضمن، میزان کل بارندگی در دوره آزمایش ۲۷۷/۹ میلی‌متر بود که نسبت به آمار بلندمدت با ۳۸۳/۳میلی متر به میزان ۱۰۵/۴میلی‌متر کمتر بود.

با بررسی میانگین تشعشع روزانه در مقایسه با آمار بلندمدت مشخص گردید که در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت میزان تشعشع در دورهٔ آزمایش کمتر از میانگین آمار بلندمدت بود، اما در خردادماه میزان تشعشع در دورهٔ آزمایش بیشتر از میانگین آمار بلندمدت بود. حداکثر تفاوت میزان تشعشع بین دو دوره مربوط به اردیبهشت‌ماه بود، به‌طوری‌که در این ماه تشعشع به میزان ۴/۵مگاژول در مترمربع در روز کمتر از آمار بلندمدت بود. همچنین، در طول دوره آزمایش حداقل و حداکثر میانگین تشعشع متعلق به ماه‌های دی و خرداد به ترتیب ۸/۲ و ۲۴/۳مگاژول در مترمربع در روز بود.

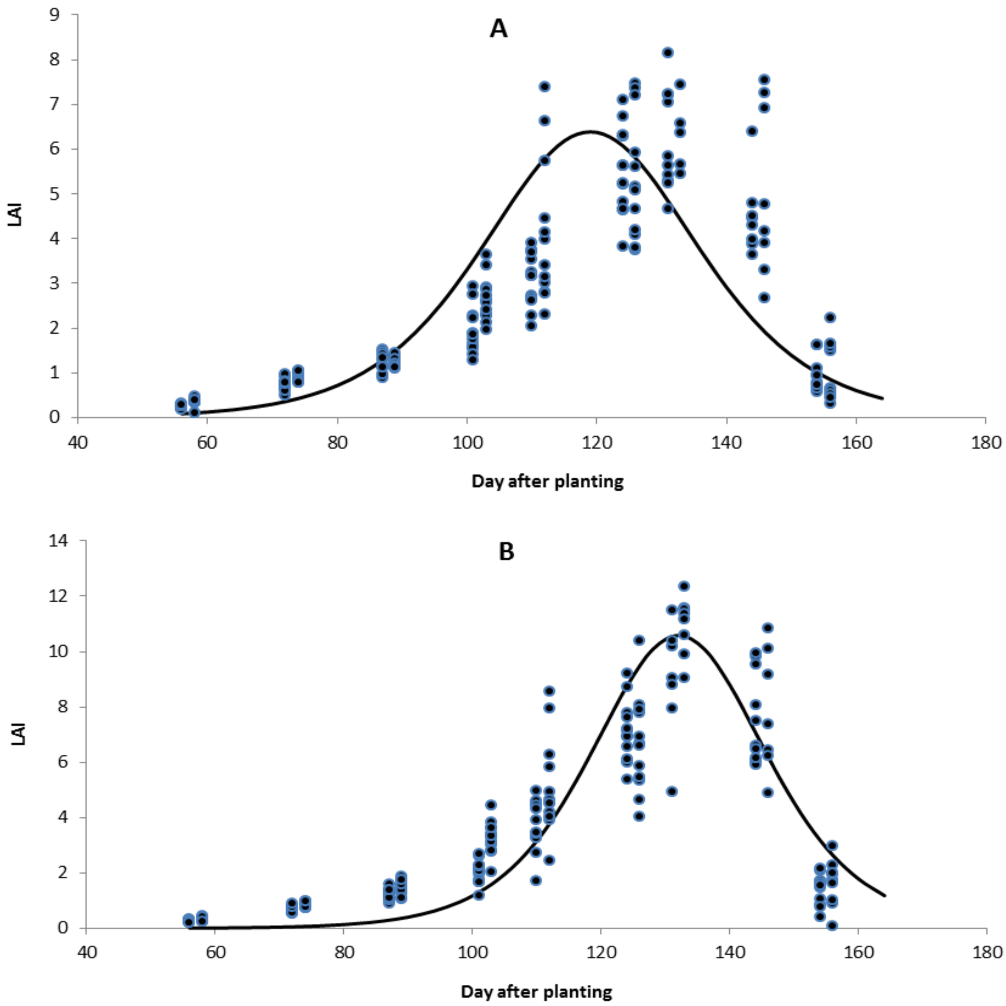
جدول ۱- میانگین دمای حداقل و حداکثر، تشعشع ماهانه و مجموع بارندگی ماهانه در دوره آزمایش و ۴۰ساله گذشته در شرایط آب‌وهوایی گرگان (۱۳۸۶-۱۳۴۶)

Table 1. Average of maximum and minimum temperature, monthly radiation and total monthly precipitation at the time of experiment and 40 years ago in Gorgan (19672007)

میانگین تشعشع Average radiation		مجموع بارندگی Total rainfall (mm)		حداکثر دما Maximum temperature (°C)		حداقل دما Minimum temperature (°C)		ماه Month
دوره بلندمدت Long term period	دوره آزمایش Experiment period	دوره بلندمدت Longterm period	دوره آزمایش Experiment period	دوره بلندمدت Longterm period	دوره آزمایش Experiment period	دوره بلندمدت Longterm period	دوره آزمایش Experiment period	
	8.6	52.3	22.8	16.0	20.9	6.3	8.0	آذر November
9.4	8.2	56.9	50.5	12.9	13.9	3.8	3.8	دی December
11.2	9.2	65.7	64.2	12.4	13.4	3.4	3.4	بهمن January
14.1	13.8	73.3	72.8	14.5	12.7	2.5	4.8	اسفند February
17.4	14.9	60.3	10.0	19.3	20.1	9.0	9.6	فروردین March
20.1	15.6	47.2	33.1	24.9	23.2	13.8	14.6	اردیبهشت April
21.6	24.3	35.7	24.5	29.6	31.1	18.4	20.2	خرداد May

روند تغییرات شاخص سطح برگ سبز در طول فصل رشد

تغییرات سطح برگ سبز نسبت به زمان (روز پس از کاشت) از یک تابع لجستیک پیروی می‌کند (Bakhshande *et al.*, 2011). با برازش‌دادن مدل لجستیک به تیمارهای مختلف آزمایش اختلاف معنی‌داری بین فاصله بین‌ردیف‌های مختلف و رقم‌های فرانسه و برکت مشاهده نشد، اما ضرایب مدل لجستیک (a، b و c به‌ترتیب سرعت تولید سطح برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت کاهش سطح برگ) برای دو فاصله روی ردیف دارای اختلاف معنی‌دار بود. در شکل۱ روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد در دو فاصله روی ردیف ۸ و ۱۵ سانتی‌متر آورده شده است. تغییرات سطح برگ در طول فصل رشد بر اساس یک تابع لجستیک توجیه می‌شود. بدین ترتیب که در اوایل فصل رشد، افزایش شاخص سطح برگ به‌صورت نمایی انجام می‌شود و سپس به‌صورت خطی ادامه می‌یابد و به حداکثر می‌رسد و پس از آن با شروع پیرشدن برگ‌ها رو به کاهش می‌گذارد تا وقتی که تمام برگ‌ها زرد شده و سطح برگ به صفر می‌رسد. بر اساس مدل برازش‌داده‌شده به دو فاصله روی ردیف، دو تفاوت اساسی بین تیمارها وجود داشت؛ اول این‌که با کاهش فاصله روی ردیف‌های کاشت (افزایش تراکم بوته) دورهٔ افزایش نمایی کوتاه‌تر شد و دورهٔ افزایش خطی زودتر شروع شد. دوم، در هر دو رقم باقلای مورد مطالعه با افزایش تعداد بوته در واحد سطح از طریق کاهش فاصله روی ردیف کشت، مقدار حداکثر شاخص سطح برگ سبز (LAImax) به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل ۱).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت در گیاه باقلا

● مقادیر مشاهده‌شده در دو رقم فرانسه، برکت و فاصله بین ردیف‌های مختلف و ــــ مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل را نشان می‌دهد.

(A: فاصله روی ردیف ۸ سانتی‌متر، B: فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر)

Fig. 1. Leaf area index in the days after planting for faba bean

● the amount observed in the two varieties of France, Barecat for different interarow space and ــــ the values predicted by the model indicates (A: interrow space of 8 cm, B: interrow space of 15 cm).

بیشترین شاخص سطح برگ در فاصله روی ردیف ۸ و ۱۵سانتی‌متر به ترتیب برابر ۶/۸۵ و ۱۰/۸۰ بود (جدول ۲). زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ بین دو رقم و فاصله بین ردیف‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی اختلاف بین فاصله روی ردیف‌ها در سطح احتمال ۵درصد معنی‌دار بود. زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در فاصله بین ردیف ۸ سانتی‌متر، ۱۱۹روز و برای فاصله روی ردیف ۱۵سانتی‌متر ۱۳۲/۷روز بود (جدول ۲). Cavero *et al*, (2000) در گیاه ذرت، Nehbandani *et al*, (2013) در سویا و Zainali *et al*, (2013) در باقلا نیز مدل لجستیک را به داده‌های شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت برازش دادند و گزارش کردند که این مدل بهترین برازش را به داده‌های LAI در مقابل روز پس از کاشت داشت. Kumudini *et al*, (2001) نیز گزارش کردند که با آغاز مرحله رسیدگی برگ‌ها زرد شده و در نتیجه شاخص سطح برگ به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد و در نهایت در مرحله رسیدگی شاخص سطح برگ به صفر می‌رسد. Bafkar *et al* (2011) و Zainali *et al*, (2016) نیز در پژوهشی بر

روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت را به‌صورت لجستیک توصیف کردند.

جدول۲- ضرایب مدل لجستیک پیک برای پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای فاصله روی ردیف‌های ۸ و ۱۵ سانتی‌متر

ضرایب a، b و c به‌ترتیب سرعت تولید سطح برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت کاهش سطح برگ هستند. R^2 ضریب تبیین می‌باشد.

Table 2. Coefficients of logistic model to predict peak leaf area index for the interrow space of 8 and 15 cm

Coefficients a, b and c production are the rate leaf area, time required to achieve maximum leaf area index and speed reduced leaf area, respectively

R^2	c±SE	a±SE	b±SE	LAI_{max}	فاصله روی ردیف (سانتی‌متر) Interrow space (cm)
0.90	248.2 ± 11.21	0.09 ± 0.004	129.0±0.74	6.85 a	8
0.94	385.7 ± 15.18	0.11 ±0.005	132.7±0.64	10.80 b	15

رابطه سطح برگ سبز با وزن خشک برگ سبز

به‌منظور توصیف رابطۀ بین سطح برگ سبز و وزن خشک برگ سبز برای هر یک از ۱۲تیمار در این مطالعه، روابط جداگانه‌ای برازش داده شد، اما با بررسی حدود اطمینان مدل برازش‌داده‌شده، بین ارقام برکت و فرانسه، فواصل بین ردیف ۲۵، ۵۰ و ۷۵سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۸ و ۱۵سانتی‌متر از نظر ضریب آلومتریک اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. در نتیجه، به‌جای استفاده از روابط جداگانه برای هر تیمار، برای مجموع تیمارها از یک رابطه دوتکه‌ای (معادله ۳) برای توصیف رابطه بین سطح برگ در برابر وزن خشک برگ سبز در بوته استفاده شد (جدول ۳). ضریب تبیین این تابع ۰/۹۸ و جذر میانگین مربعات خطای آن برای مجموع تیمارها ۲/۵۹ درصد بود که نشان از رابطۀ بسیارخوب میان شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ داشت (جدول ۳).

جدول ۳- ضرایب a و b و مقدار X0 در تابع دوتکه‌ای برازش‌داده‌شده به داده‌های شاخص سطح برگ سبز در برابر وزن خشک برگ سبز

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند.

Table 3. The coefficients a, b and x0 are in the Twopiece functions fitted to data Leaf area index against green leaf dry weight

RMSE (Root mean square error) and R^2 is the coefficient of regression.

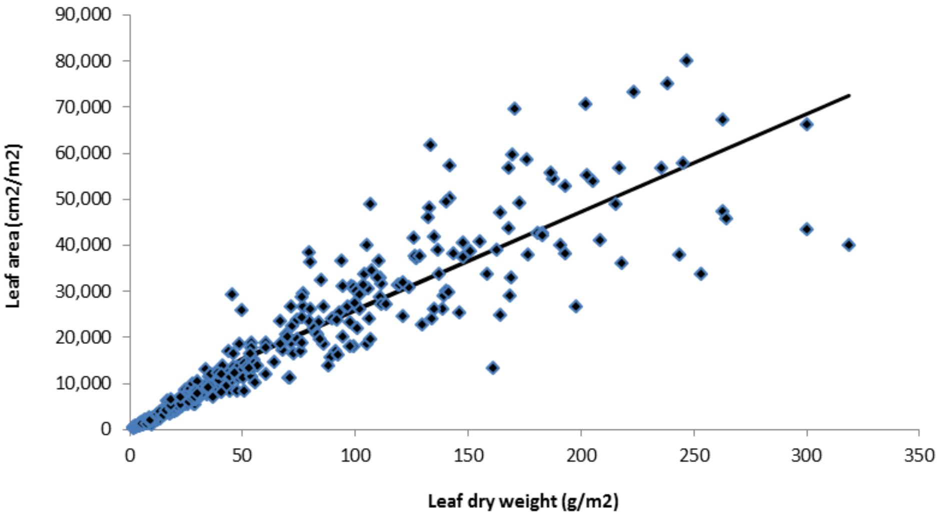
RMSE	R^2	x_0±SE	b_2±SE	b_1±SE
1.05	0.98	50.35± 6.19	212.3± 3.36	309.1±12.15

در ابتدای فصل رشد بیشتر مواد فتوسنتزی ساخته‌شده در بوته به برگ‌ها اختصاص می‌یابد. از آنجا که در این مرحله سطح ویژه برگ‌ها بالاتر است (برگ‌های تشکیل‌شده در این مرحله نازک‌تر هستند)، شیب افزایش سطح برگ در مقابل وزن برگ بیشتر است. در واقع بوته‌ها با مقدار وزن برگ کمتر مقدار سطح برگ بیشتری تولید می‌کنند. اما با گذشت زمان، به‌ویژه بعد از شروع طویل‌شدن ساقه، این شیب به دلیل کاهش سطح ویژۀ برگ‌ها (افزایش ضخامت برگ‌ها) و افزایش ضریب تخصیص مادۀ خشک به اندام‌های دیگر بوته مانند ساقه نسبت به قبل از نقطه شکست، کاهش پیدا می‌کند (شکل۲). بر اساس نتایج این آزمایش شیب مرحله اول (ضریب b1) برابر ۳۰۹/۱سانتی‌مترمربع در ازای هر گرم وزن خشک برگ می باشد و شیب مرحله دوم برابر (ضریب b2) برابر ۲۱۲/۳سانتی‌مترمربع در ازای هر گرم وزن خشک برگ می باشد (جدول ۳).

Bakhshande *et al*, (2011) در مورد گندم، (2011) Torabi *et al*, در مورد نخود، (2016) Zainali *et al*, در مورد ذرت و (2013) Nehbandani *et al*, در مورد سویا نیز برای توصیف رابطۀ شاخص سطح برگ با وزن خشک برگ از تابع دوتکه‌ای استفاده کردند. با این حال، برای توصیف رابطه

بین شاخص سطح برگ با وزن خشک برگ از مدل‌های دیگر نیز استفاده شده است. برای مثال Rahemi *et al,* (2006) برای نخود از یک مدل خطی، Sharrett & baker (1985) برای یونجه و Payne *et al,* (1991) برای ارزن از مدل غیرخطی و Hammer *et al,* (1993) برای سورگوم از معادله توانی استفاده کردند. Akramghaderi *et al,* (2004) برای توصیف روابط آلومتریک بین سطح برگ با وزن خشک برگ در بوته در گیاه پنبه (چهار تاریخ کاشت و سه رقم) از معادلات رگرسیونی مختلف استفاده و در نهایت، معادله توانی ($LA=125.3LDW^{1.09}$) با ضریب تبیین ۰/۹۸ را به‌عنوان بهترین معادله برای توصیف روابط بین سطح برگ در بوته (LA) و وزن خشک برگ در بوته (LDW) پنبه معرفی کردند.

تفاوت مدل‌های برازش‌داده‌شده در گیاهان دیگر به داده‌های سطح برگ در برابر وزن خشک را می‌توان به تفاوت سطح ویژۀ برگ و همین‌طور تفاوت تغییرات ضریب تخصیص مادۀ خشک در طول فصل رشد به برگ‌ها در گیاهان مختلف نسبت داد.



شکل ۲- سطح برگ به‌عنوان تابعی از وزن خشک برگ در گیاه باقلا در تمام تیمارها

♦ مقادیر مشاهده‌شده در تیمارها و تکرارهای مختلف و ــــ مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل را نشان می‌دهد.

Fig. 2. Leaf area index as a function of dry weight leaves in the faba bean plants in all treatments

♦Value observed in treatments and different repetitions and ــــ indicates values predicted by the model.

رابطه سطح برگ سبز با وزن خشک اندام هوایی

بررسی حدود اطمینان ضرایب مدل دوتکه‌ای (b1, b2. x0) برازش‌داده‌شده به داده‌های سطح برگ در برابر وزن خشک اندام هوایی (شکل۳) نشان داد که از این نظر، بین دو رقم و فاصله بین و روی ردیف‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. این نشان می‌دهد که رابطۀ آلومتریک بین سطح و وزن خشک اندام هوایی گیاه، مستقل از فاصلۀ بین و داخل ردیف بوده و تحت تأثیر تغییر این عوامل تغییر نمی‌کند. بنابراین، برازش توابع جداگانه به داده‌های سطح برگ در مقابل وزن خشک اندام هوایی برای هر یک از فواصل بین و روی ردیف و رقم‌ها ضروری نبوده و برای تمام تیمارها می‌توان از یک رابطه (معادله ۴) استفاده کرد (جدول ۴).

نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی به‌منظور تعیین مقدار سطح برگ با استفاده از رابطه آلومتریک مناسب هستند.

جدول ۴- ضرایب a و b و مقدار x0 در تابع دوتکه‌ای برازش‌داده‌شده به داده‌های سطح برگ در برابر وزن خشک اندام هوایی

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند.

Table 4. The coefficients a and b and the amount X0 in the Twopiece functions fitted to data Leaf area index against Shoot dry weight

RMSE (Root mean square error) and R^2 is the coefficient of regression.

RMSE	R^2	x_0±SE	b_2±SE	b_1±SE
1.08	0.95	4.33±0.84	82.6 ± 3.62	137.7±8.50

با این حال، مطابق با نتایج مطالعات دیگر (Zainali *et al*., 2013; Zeinali *et al*., 2016; Nehbandani *et al*., 2013)، در این مطالعه نیز دقت پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از وزن خشک برگ به‌طور نسبی بیشتر از وقتی بود که سطح برگ با استفاده از وزن خشک کل اجزای رویشی گیاه برآورد گردید (ضریب تبیین رابطه آلومتریک بین سطح برگ و وزن خشک برگ ۹۸ و برای وزن خشک اندام هوایی ۹۵ بود). البته باید به این نکته توجه داشت که اندازه‌گیری وزن خشک کل بوته نسبت به وزن خشک برگ‌ها مستلزم صرف وقت برای جداکردن برگ‌ها نبوده و با سرعت بیشتری انجام می‌شود؛ در مقابل، اگر فقط از وزن خشک برگ‌ها استفاده شود، علاوه بر بالاتربودن دقت پیش‌بینی سطح برگ، حجم نمونه‌ها نیز کمتر است (Zainali *et al*., 2013).

Torabi *et al*, (2011) از تابع دوتکه‌ای برای برآورد سطح برگ بوته به عنوان تابعی از از ماده خشک کل بوته در نخود استفاده کردند. Tsialtas *et al*, (2008) در مورد چغندرقند و Retta *et al*, (2000) در چند گیاه باریک‌برگ با استفاده از معادلات رگرسیون خطی و غیرخطی همبستگی بسیار بالایی را بین سطح برگ و وزن خشک برگ و وزن خشک کل اجزای رویشی بوته گزارش کردند. تعدادی از محققان دیگر نیز از معادله‌های غیرخطی برای توصیف روابط سطح برگ با وزن خشک برگ و یا وزن خشک کل اجزای رویشی استفاده کرده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به Akramghaderi *et al* (2004) در پنبه، Zainali *et al*, (2016) در ذرت، Bakhshande *et al*, (2011) در گندم و Rahemi *et al*, (2006) در نخود اشاره کرد.

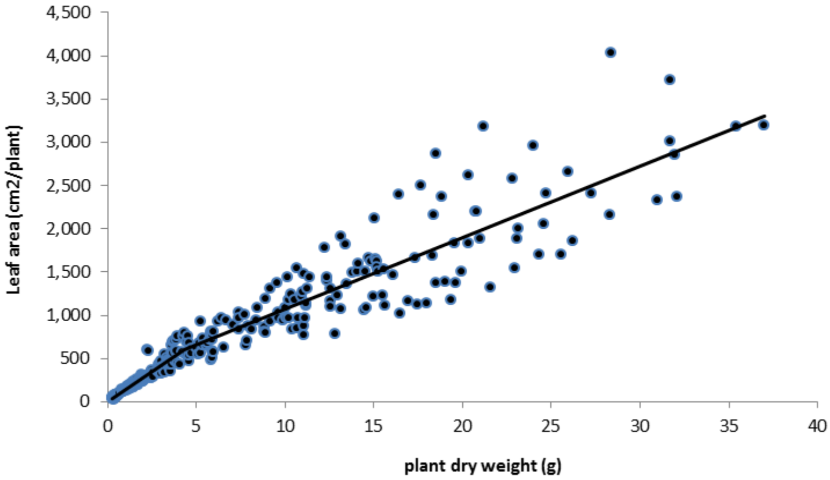
رابطۀ سطح برگ سبز با ارتفاع بوته

به‌منظور توصیف رابطۀ سطح برگ سبز در بوته با ارتفاع بوته تابع توانی در مقایسه با سایر توابع از نکویی برازش بهتری برخوردار بود (شکل ۴). با بررسی حدود اطمینان ضرایب توابع مشخص شد که بین ضرایب توابع توانی برازش‌داده‌شده به داده‌های سطح برگ در برابر ارتفاع بوته در دو رقم در سطح احتمال ۵درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما بین ضرایب توابع توانی برازش‌داده‌شده به داده‌های سطح برگ در برابر ارتفاع بوته برای فاصله بین ردیف‌های مختلف و فاصله روی ردیف‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). بنابراین برای داده‌های فاصله بین ردیف مختلف در تمام سطوح فاصله روی ردیف در این آزمایش یک تابع توانی (معادله ۵) برازش داده شد (جدول ۶). در این تابع توانی سطح برگ بوته (سانتی‌مترمربع در بوته، y) در برابر ارتفاع بوته (سانتی‌متر، x) قرار گرفته است.

با افزایش ارتفاع بوته، میزان سطح برگ در بوته در ابتدا به‌صورت نمایی و سپس به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل۴). ازآنجا که اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مقایسه با اندازه گیری سطح برگ امری بسیار ساده‌تر، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر است، از این صفت می‌توان با دقت کافی برای برآورد سطح برگ استفاده نمود. بر خلاف نتایج این مطالعه که نشان‌دهنده رابطه نسبتاً خوبی بین ارتفاع و شاخص سطح برگ است، در تحقیقاتی که Nehbandani *et al*, (2013) بر روی سویا و Akramghaderi (2004) روی پنبه و *et al*, (2013) Zainali *et al*, روی باقلا انجام دادند، مشاهده کردند که ارتفاع گیاه توصیف‌کننده مناسبی برای سطح برگ نیست. البته برآورد سطح برگ با استفاده از ارتفاع به دلیل جذر میانگین مربعات خطای بالاتر نسبت به دیگر روش‌ها دارای دقت پایین‌تر می‌باشد.

رابطه سطح برگ سبز با تعداد گره در ساقه اصلی

پس از ارزیابی توابع مختلف، تابع توانی به‌دلیل برازش بهتر برای توصیف رابطه بین سطح برگ و تعداد گره در ساقه اصلی انتخاب شد (شکل ۵). با بررسی حدود اطمینان برای ضریب b مشخص شد اختلاف معنی‌داری بین دو رقم فرانسه و برکت و همچنین فاصله بین ردیف‌ها در سطح احتمال ۵درصد وجود ندارد. اما بررسی حدود اطمینان ضریب b برای دو فاصله روی ردیف در سطح احتمال ۵درصد معنی‌دار بود، بنابراین تابع توانی برای هر فاصله روی ردیف جدا گانه برازش داده شد. بر اساس نتایج جدول ۶ ضریب b با افزایش فاصله روی ردیف (کاهش تراکم) افزایش می‌یابد. Zainali *et al*, (2016) در ذرت و Nehbandani *et al*, (2013) در سویا نیز گزارش کردند با افزایش تراکم مقدار ضریب b کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۳- سطح برگ به‌عنوان تابعی از وزن خشک بوته در گیاه باقلا در دو رقم فرانسه و برکت، فاصله بین و روی ردیف‌های مختلف

● مقادیر مشاهده‌شده در تمام تیمارها و تکرارهای مختلف و ــــ مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل را نشان می‌دهد.

Fig. 3. Leaf area index as a function of dry weight plant in the faba bean plants in all treatments

● Value observed in treatments and different repetitions and ___ indicates values predicted by the model.

جدول ۵- ضریب b و مقدار R^2 در رابطه توانی بین سطح برگ و ارتفاع بوته باقلا در دو فاصله روی ردیف و فاصله بین ردیف‌های مختلف

RMSE جذر میانگین مربعات خطا می‌باشد.

Table 5. Coefficient b and the value of R^2 in the power relationship between Leaf area and plant height Bean in two inter and intera row spacing

RMSE is the root mean square error

		فاصله روی ردیف ۸ سانتی‌متر **interarow space (8 cm)**	
RMSE	**R^2**	**b±SE**	فاصله بین ردیف (سانتی‌متر) **interrow space (cm)**
1.02	0.95	1.57±0.009a	25
1.09	0.94	1.61±0.016b	50
1.32	0.98	1.71±0.011c	75
		فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر **interarow space (15 cm)**	
1.30	0.90	1.69 ±0.016a	25
1.50	0.92	1.77 ±0.009b	50
1.50	0.98	1.77 ±0.010b	75

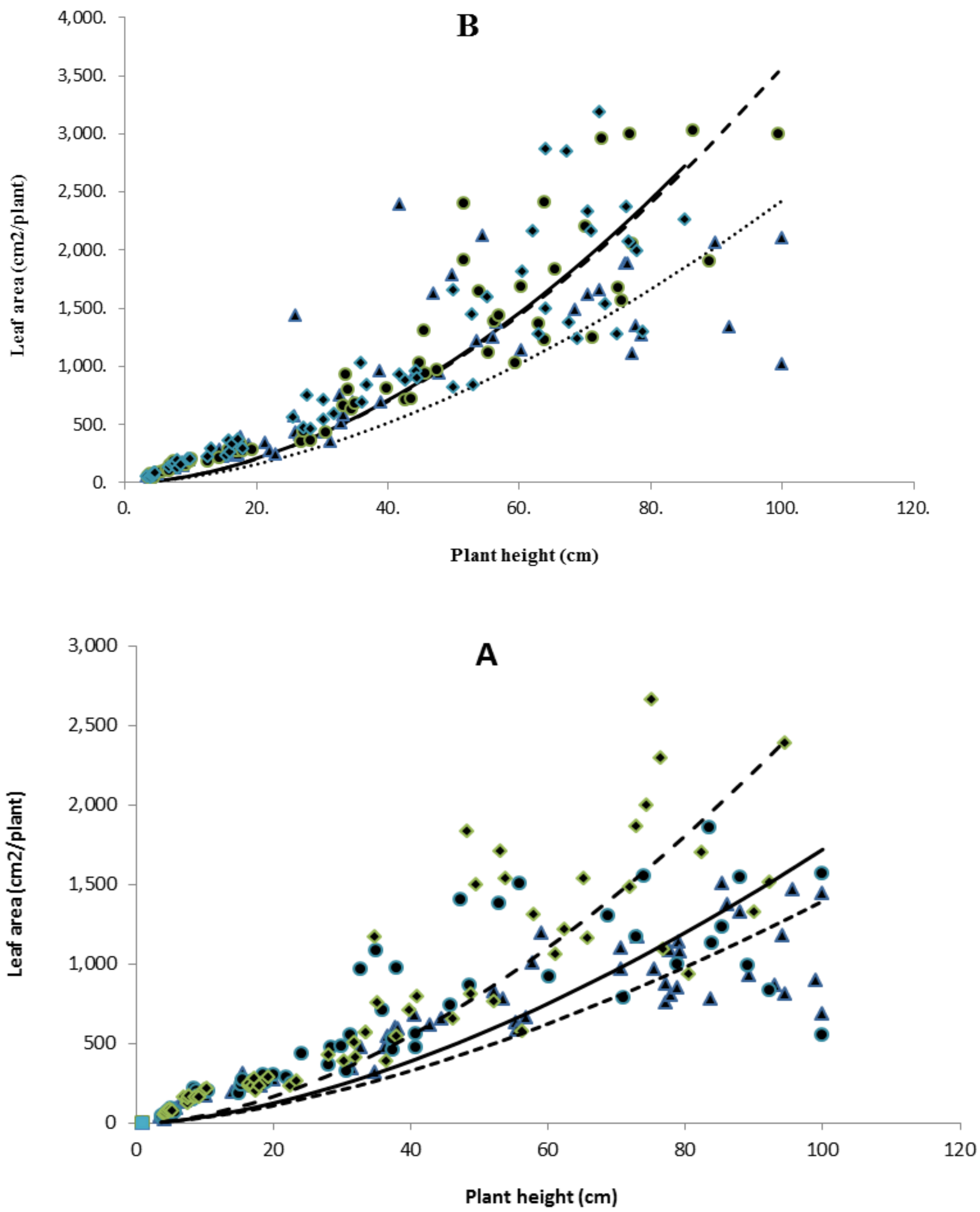
جدول۶- ضریب (b) در معادله $y=x^b$ برای سطح برگ بوته در مقابل تعداد گره در ساقه در دو فاصله روی ردیف مختلف

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند.

Table 6. Coefficient (b) in the equation $y = x^b$ for leaf area of plant in front of the node number per stem in two intera row space

RMSE (Root mean square error) and R^2 is the coefficient of regression

RMSE	**R^2**	**b±SE**	فاصله روی ردیف (سانتی‌متر) **Distance on rows (cm)**
1.0	0. 98	2.40 ±0.014a	8
1.64	0.95	2.53 ±0.011b	15

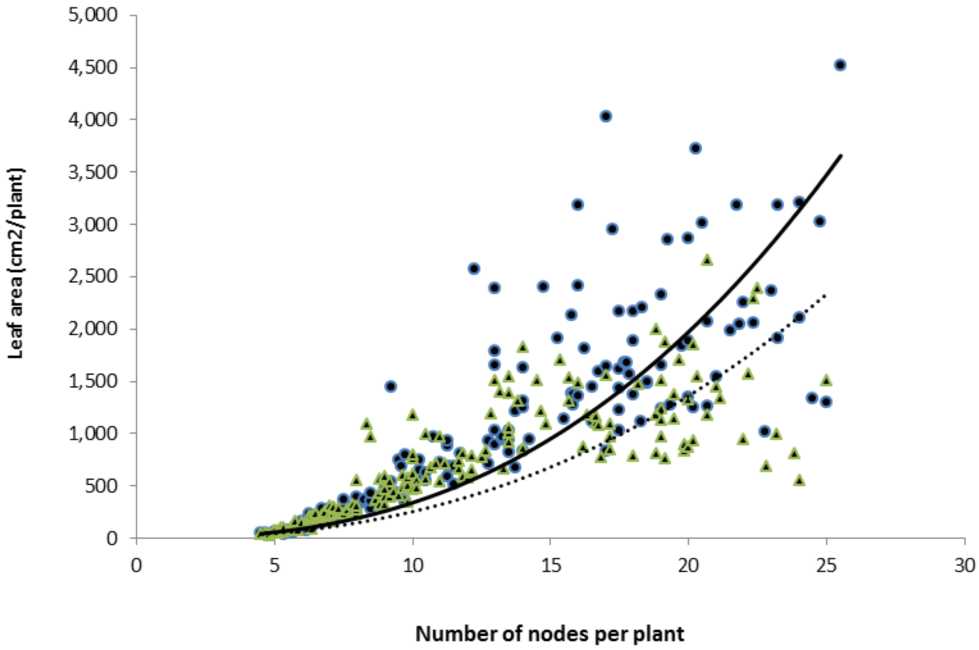


شکل ۴- سطح برگ در بوته به عنوان تابعی از ارتفاع بوته در گیاه باقلا در فاصله بین و روی ردیف‌های مختلف
الف: فاصله روی ردیف ۸سانتی‌متر و ب: فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر

▲: فاصله بین ردیف ۲۵سانتی‌متر، ●: فاصله بین ردیف ۵۰سانتی‌متر، ■: فاصله بین ردیف ۷۵سانتی‌متر. خط نقطه چین: مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل در فاصله بین ردیف ۲۵سانتی‌متر، خط پیوسته: مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل در فاصله بین ردیف ۵۰سانتی‌متر و خط تیره (منقطع): مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل در فاصله بین ردیف ۷۵سانتی‌متر را نشان می‌دهد).

Fig. 4. Plant height, Leaf area per plant as a function of inter and intera spacing row space different in bean plants A: interrow space 8 cm; B: interrow space 15 cm

▲: interarow space 25 cm, ●: interarow space 50 cm, ■: interarow space 75 cm. Dotted line: the values predicted by the model at a interarow space 25 cm, continuous line: the values predicted by the model at a interarow space 50 cm, Dash (interrupted): the values predicted by the model at a interarow space 75 cm)



شکل۵- سطح برگ در بوته به‌عنوان تابعی از تعداد گره (یا برگ) روی ساقه، توصیف‌شده به‌وسیلۀ معادله $y=x^b$

خط نقطه چین: فاصله روی ردیف ۸سانتی‌متر و خط ممتد: فاصله روی ردیف ۱۵سانتی‌متر؛ ● مقادیر مشاهده‌شده در دو رقم برکت و فرانسه و فاصله بین ردیف‌های مختلف برای فاصله روی ردیف ۱۵سانتی‌متر؛ ▲ مقادیر مشاهده‌شده در دو رقم برکت و فرانسه و فاصله بین ردیف‌های مختلف برای فاصله روی ردیف ۸سانتی‌متر

Fig. 5. Leaf area per plant as a function of the number of nodes (or leaves) the stem described by the equation $y=x^b$
Dotted line: The interrow space of 8 cm; Continuous line: the interrow space 15 cm; ● The amount observed in the two different Barecat and France and the interrow space 15 cm; ▲ The amount observed in the two different Barecat and France and the interrow space 8 cm

Sinclair (1984) و Hammer *et al*, (1993) نیز از یک مدل غیرخطی (توانی) برای توصیف سطح برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی به‌ترتیب در سویا و سورگوم استفاده کردند. یافته‌های Pengelly *et al*, (1999) نشان داد که در چند لگوم علوفه‌ای نیز می‌توان با استفاده از معادله توانی سطح برگ بوته را به‌عنوان تابعی از تعداد گره در ساقه اصلی پیش‌بینی کرد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این آزمایش رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ، وزن خشک کل گیاه در گیاه باقلا تحت تأثیر رقم، فاصله بین ردیف و فاصله روی ردیف قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، می‌توان از یک معادله برای رقم‌های فرانسه و برکت، فاصله بین ردیف‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌های ۸ و ۱۵سانتی‌متر برای رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ، وزن خشک کل بوته استفاده کرد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه سطح برگ سبز بوته با وزن خشک برگ سبز و تعداد گره در ساقه دارای ضریب تبیین بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات کوچک‌تری نسبت به صفات دیگر بود. از آنجایی که رابطه سطح برگ سبز با وزن خشک برگ سبز در بوته دارای ضریب تبیین بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات کوچک‌تری نسبت به تعداد برگ در ساقه بود، پیشنهاد می‌شود از رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ (رابطه دوتکه‌ای) برای برآورد سریع و آسان سطح برگ در مواقعی استفاده شود که دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ در دسترس نیست. همچنین در مدل‌های شبیه‌سازی باقلا نیز می‌توان با دقت کافی از این رابطه به منظور پیش‌بینی سطح برگ باقلا استفاده کرد.

منابع

1. Akramghaderi, F., and Soltani, A. 2007. Leaf area relationships to plant vegetative characteristies in cotton (*Gassypium hirsutum* L.) grown in a temperate subhumid environment. International Journal of Plant Production 1: 6371.
2. Bafkar, A., Boromand, S., Behzad, M., and Farhadi, B., 2011. Predict production potential of grain corn in Mahidasht Kermanshah 704 C using a simulation model of crop growth WOFOST. Iranian Journal of Field Crop Science 42(4): 4555. (In Persian with English Abstract).
3. Bakhshande, A., Soltani, A., Zainali, A., Kalatearabi, M., and Ghadirian, R. 2011. Evaluation of allometric relationships leaf area and plant growth components in durum and bread wheat varieties. Iranian Journal of Crop Sciences 13(4): 5587. (In Persian with English Abstract).
4. Cavero, J., Farre, I., Debaeke, Ph., and Faci, J.M. 2000. Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT models. Agronomy Journal 92: 679-690.
5. Chen, J.M., Pavlic, G., Brown, L., Cihlar, J., Ieblanc, S.G., White, H.P., Hall, R.J., Peddle, D.R., King, D.J., Trofymow, J.A., Swift, E., Van der Sanden, J., and Pellikka, P.K.E. 2002. Derivation and validation of Canada wide coarse resolution leaf area index maps using highresolution satellite imagery and ground measurements. Remote Sensing of Environment 80: 165184.
6. Ewert, F. 2004. Modelling plant responses to elevated Co_2: How important is leaf area index. Annals of Botany 93: 619-627.
7. Ghadirian, R., Soltani, A., Zeinali, E., Kalateh Arabi, M., and Bakhshandeh, E. 2011. Evaluating non linear regression models for use in growth analysisof wheat. Iranian Journal of Plant Production 4(3): 55-77.
8. Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State Univ. Press, Ames, USA.
9. Hammer, G.L., Carberry, P.S., and Muchow, R.C. 1993. Modeling genotype and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. I. Whole plant level. Field Crops Research 33: 293-310.
10. Johnson, R.E. 1967. Comparison of methods for estimating cotton leaf area. Agronomy Journal 59: 493-494.
11. Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., and Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. I: Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology 121: 1935.
12. Kumudini, S., Hume, D.J., and Chu, G. 2001. Genetic improvements in short season soybeans I. Dry matter accumulation, partitioning and leaf area duration. Crop Science 41: 391-398.
13. Lieth, J.H., Reynolds, J.F., and Rogers, H.H. 1986. Estimation of leaf area of soybeans grown under elevated carbon dioxide levels. Field Crops Research 13: 193-203.
14. Lockwood, J.G. 1999. Is potential evapotranspiration and its relationship with actual evapotranspiration sensitive to elevated atmospheric Co_2 levels? Climatic Change 41: 193-212.
15. Ma, L., Gardener, F.P., and Selamat, A. 1992. Estimation of leaf area from leaf and total mass measurements in peanut. Crop Science 32: 467-471.
16. Nehbandani, A., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S., and Najafi, R. 2013. Allometric relationships between leaf area and vegetative characteristics in soybean. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 6(16): 1127-1136.
17. Niklas, K.J. 1995. Plant height and the properties of some herbaceous stem. Annals of Botany 75: 133-142.
18. Payne, W.A., Went, C.W., Hossner, L.R., and Gates, C.E. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. Agronomy Journal 83: 937-941.
19. Pengelly, B.C., Muchow, R.C., and Blamey, F.P.C. 1999. Predicting leaf area development in response to temperature in three tropical annual forage legumes. Australian Journal of Agricultural Research. 50: 253-259.

20. Rahemi, A., Soltani, A., Poorreza, J., Zainali, A., and Sarparst, R. 2006. Allometric relationships between leaf and vegetative traits in pea plants. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13(5): 3344. (In Persian with English Abstract).
21. Retta, A., Armbrust, D.V., Hagen, L.J., and Skidmore, E.L. 2000. Leaf and stem area relationship to masses and their height distributions in native grasses. Agronomy Journal 92: 225-230.
22. Sharratt, B.S., and Baker, D.G. 1986. Alfalfa leaf area as a function of dry matter. Crop Science 26: 1040-1043.
23. Shih, S.F., Gascho, G.J., and Rahi, G.S. 1981. Modeling biomass production of sweet sorghum. Agronomy Journal 73: 1027-1032.
24. Sinclair, T.R. 1984. Leaf area development in fieldgrown soybeans. Agronomy Journal 76: 141-146.
25. Soltani, A., and Galeshi, S. 2002. Importance of rapid canopy for wheat production in atemperate sub humid environment: experimentaion and simulation. Field Crops Research 77: 1730.
26. Soltani, A., Hammer, G.L., Trabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. Field Crops Research 99: 113.
27. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zaeinali, E. 2011. Analyzing the Wheat Yield Constraints in Gorgan with a Simulation Model and Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach. Ph.D. Thesis Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources. 225 p. (In Persian with English Abstract).
28. Tsialtas, J.T., and Maslaris, N. 2008. Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in a sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. Photosynthetica 46: 351-355.
29. Waggoner, P.E., and Berger, R.D. 1987. Defoliation, disease, and growth: A reply. Phytopathology 77(11): 1495-1497.
30. Zainali, A., Soltani, A., Torani, M., and Khadempir, M. 2013. Study allometric relationships between leaf area and plant growth components in the Faba Bean. Journal of Plant Production. 4: 1844. (In Persian with English Abstract).
31. Zainali, A., Soltani, A., and Khadempir, M. 2016. Investigating the Alometric Relationships between leaf area and some of vegetative characteristics in SC704 corn hybrid. Iranian Journal of Field Crops Research. 14(2): 354-368. (In Persian with English Abstract).

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 66-80

The relationship between leaf area and vegetative characteristics in Barecat and French faba bean cultivars

Eslami[1], M.K., Zeinali[2], E., Soltani[3], A. & Khadempir[4*], M.

1. MSc. Graduate, Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
eslami@yahoo.com
2. Associate Professor, Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
zainali11@yahoo.com
3. Professor, Crop Modeling, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
soltani@yaoo.com
4. Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Received: 7 October 2016
Accepted: 21 January 2017

DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.58498

Introduction

Since the leaves are the main source of production of photosynthetic substances in plants, dry matter production and crop yield potential is largely depend on the leaf surface, and many environmental changes affect growth and yield through changes in leaf area. Hence, green leaf area per plant and leaf area index measure in almost all studies of crop physiology to understand the mechanism of yield alteration. However, measurement of leaf area compared with other traits such as plant height and total plant dry weight is very difficult, precise instruments and spend more time and cost. Therefore, according to the allometric relationships in plants, extensive studies were done to find the relationship between leaf area and other plant traits that their measurement is easier, faster and cheaper, and does not require expensive equipment. Allometric relationships in plants reveal changes in the growth of an organ of plant than to all or another part or organ of plant. The leaf area in plant as main source of photosynthetic substances closely associated with the growth and yield. Thus, it is usually measured for justifying variations of the growth and yield. Due to the difficulty, timeconsuming and requires devices to measure leaf area, an alternative approach for measuring the leaf area is the use of allometric relationships between leaf area and traits that their measuring is easy and quick and requires no expensive equipment. This study aimed to obtain the allometric relationships between green leaf area and a number of vegetative attributes such as number of leaves per main stem, green leaf dry weight, total dry weight of vegetative parts of plant. Allometric equations was used successfully to calculate leaf area in various crops such as cotton, wheat, chickpea, faba bean, peanuts, soybean and sweet sorghum. The effects of three factors cultivar, inter and intrarow spacing on the allometric relationships were examined.

Materials & Methods

This experiment was conducted using two cultivars of faba bean (a conventional, Barecat and a new cultivar, French), three interrow spacing (25, 50 and 75 cm) and two intrarow spacing (8 and 15 inches) in

*Corresponding Author: m.khadempir87@yahoo.com

a randomized complete block design with 4 replications in the farm of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources during 20102011 growing season. Sampling to measure the green leaf area and leaf dry weight and other vegetative traits during the growing season was carried out with intervals of 7 to 15 days (depending on the temperature and rate of plant growth). Different mathematical functions were fitted to the data to obtain allometric relationships. To compare the accuracy of the equations, coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) were used. Higher coefficient of determination, and lower coefficient of variation and root mean square error reflects the higher accuracy of the equation to describe allometric relationships.

Results & Discussion

According to the results of this experiment, the relationship between leaf area and leaf dry weight and total plant dry weight in faba bean was not affected by cultivar, inter and intrarow spacing, statistically. Thus, an equation was fitted to leaf area data against leaf dry weight or total plant dry weight in all treatment (both cultivars and all inter and intrarow spacing). Also, results of this study showed that the relationship between green leaf area and leaf dry weight as well as number of nodes per main stem has higher coefficient of determination (0.98 for green leaf dry weight, and 0.98 and 0.95 for node number per main stem in 8 and 15 cm intrarow spacing, respectively) and lower the root mean square (1.05 for green leaf dry weight, and 1.08 and 1.064 for node number per main stem in 8 and 15 cm intrarow spacing, respectively) than other traits.

Conclusion

Since the relationship between green leaf area and green leaf dry weight per plant had a higher coefficient of determination (0.98) as well as smaller root mean square (1.05) than other traits including leaf number per main stem, as well as the ease of measuring the green leaf dry weight, it is suggested that the relationship between leaf area and leaf dry weight (a segmented relationship) is used to estimate green leaf area during the growing season in faba bean. Also, this relationship can be used to predict faba bean leaf area with sufficient accuracy in the simulation models.

Keywords: Allometric relationships, Faba bean, Leaf area, Leaf dry weight, Plant height